

国家973课题及国家自然科学基金项目资助

汽车车身 设计质量控制

Quality Control for Auto-body Design

陈涛 胡洁 聂昕 成艾国 著



汽车车身设计质量控制

陈涛 胡洁 聂昕 成艾国 著



机械工业出版社

本书基于湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室多年的科研积累,综合国内外相关研究,并结合大量的汽车车身设计工程应用实例,形成了学术研究和工程应用并重的特色,系统地讲述了汽车车身设计过程中的质量控制方法与流程。

本书共6章,在阐述了车身设计基础理论及研究现状的基础上,围绕车身开发设计流程的主线,以提升设计质量为目标,分别从车身总体布置设计、车身造型设计、车身结构设计和车身性能设计等方面详细阐述了车身设计过程中的质量控制目标、质量控制流程和质量控制方法。

本书致力于反映国内外车身设计质量控制的最新进展,结合大量工程案例,内容深入浅出,注重工程实践。本书适合作为车辆工程及相关专业大学本、专科学生的专业教材,以及相关专业的研究生和企业从事汽车设计的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车车身设计质量控制/陈涛等著. —北京:机械工业出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-111-41580-0

I. ①汽… II. ①陈… III. ①汽车—车体—设计—质量控制 IV. ①U463.820.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第033773号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李军 责任编辑:李军

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·11.25印张·223千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41580-0

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



前 言

近年来，我国汽车工业取得了突飞猛进的发展，2011年汽车销量突破1800万辆，成为全球最大的汽车产销大国。随着汽车消费者对汽车品质的日益关注，要求汽车企业不断提升产品质量，但中国自主品牌汽车的质量与国外先进车企仍有着较大的差距，自主品牌汽车企业的发展也面临非常大的挑战。

汽车车身作为汽车最重要的承载结构，车身质量对于整车质量有着至关重要的影响。传统上对于车身质量的关注主要是车身的制造质量，包括车身的钣金制造精度、外观间隙和断差等。而对于汽车用户的使用而言，更需要关注的是车身的性能质量，包括振动噪声、疲劳耐久和碰撞安全等。车身性能质量的提升不仅依靠制造精度的提高，更需要在车身设计的过程中进行关注和控制。

本书以先进的车身开发流程为主线，提出一整套的车身设计质量控制流程和控制方法。全书共6章，以车身设计质量控制为核心，系统地阐述了车身开发的各个阶段，包括总体布置、造型设计、车身结构设计和车身性能设计等，车身设计质量的控制方法和控制手段。

本书的撰写是基于湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室与上汽通用五菱汽车股份有限公司、东风柳州汽车有限公司等企业的产学研合作，紧密结合工程实际，因此适用于车辆工程专业的本科高年级学生和研究生，也适用于汽车车身设计人员用于工作参考，以及相关专业的研究生和企业从事汽车设计的工程技术人员参考用书。

受知识水平和时间等其他条件的限制，书中难免有不妥和纰漏之处，恳请读者批评指正，提出宝贵建议。

作 者



目 录

前言

第1章 车身质量设计的研究现状	1
1.1 质量设计的研究进展	1
1.1.1 设计面向质量的设计理念	1
1.1.2 车身设计质量及其影响因素	3
1.1.3 设计阶段的质量控制模型	5
1.2 车身质量的控制对象	6
1.3 标准化设计过程	11
1.4 本章小结	13
第2章 设计过程中的质量控制	14
2.1 工程类设计过程分析	14
2.1.1 设计过程的普遍含义	14
2.1.2 工程类设计过程模型	15
2.1.3 设计过程的本质	16
2.2 设计过程的目标驱动性	17
2.2.1 目标驱动性概述	17
2.2.2 质量目标的设定方法	20
2.2.3 目标的传递、协调与解决	26
2.4 本章小结	29
第3章 车身总布置设计质量控制	30
3.1 车身总布置设计质量控制简介	30
3.2 总布置设计质量目标	31
3.2.1 质量目标的来源	31
3.2.2 总布置设计质量目标的表述	33
3.3 总布置设计质量控制环节与方法	37
3.3.1 人机工程设计	37
3.3.2 截面控制	39
3.3.3 虚拟评审	41
3.3.4 乘员舱模型评审	42
3.3.5 静态感知质量评审	43



3.4	总布置设计质量控制流程	46
3.4.1	总体设计节点	46
3.4.2	设计质量控制流程图	46
3.5	总布置设计工具及应用	47
3.5.1	NX General Packaging	49
3.5.2	CATIA 人机模块	52
3.5.3	RAMSIS	52
3.5.4	SPEOS	54
3.5.5	DMU 和 Vis _ mockup	55
3.6	本章小结	57
第4章	车身造型设计质量控制	58
4.1	车身造型设计质量控制简介	58
4.1.1	车身造型设计质量控制的意义	58
4.1.2	车身造型设计目标	59
4.1.3	车身造型设计质量控制流程	62
4.1.4	车身造型设计质量控制方法	64
4.2	车身造型创意设计质量控制	68
4.2.1	车身造型创意设计质量目标	68
4.2.2	车身造型创意设计质量控制过程	71
4.2.3	车身造型创意设计质量控制方法	73
4.3	车身造型模型设计质量控制	75
4.3.1	车身造型模型设计制作目标	75
4.3.2	车身造型模型设计制作质量控制流程及方法	77
4.4	车身造型曲面设计质量控制	80
4.4.1	车身造型曲面设计目标	80
4.4.2	车身造型曲面设计质量控制流程	82
4.4.3	车身造型曲面设计质量控制方法	83
4.5	本章小结	87
第5章	车身结构设计质量控制	88
5.1	车身结构设计质量目标	88
5.1.1	车体结构设计质量目标	88
5.1.2	内外饰设计质量目标	93
5.2	车身结构设计约束	97
5.2.1	车体结构设计约束(影响车体结构设计的约束条件)	97
5.2.2	内外饰设计约束	101



5.3	车身结构设计质量控制方法	106
5.3.1	设计概念描述(DCD)	106
5.3.2	设计质量检查	110
5.3.3	CAE性能指标验证	112
5.3.4	试制试验验证	115
5.4	小结	121
第6章	车身性能设计质量控制	122
6.1	车身性能设计概述	122
6.1.1	车身性能开发流程	123
6.1.2	车身刚度性能设计	123
6.1.3	车身NVH性能设计	125
6.1.4	车身疲劳强度性能设计	127
6.1.5	车身碰撞安全性能设计	131
6.2	车身性能设计的质量控制流程及方法	133
6.2.1	车身性能设计的质量控制流程	133
6.2.2	车身性能设计的质量控制方法	138
6.3	车身性能设计中的不确定性和稳健性问题及控制	154
6.3.1	不确定性问题	154
6.3.2	稳健性问题及对车身性能的影响	163
6.3.3	案例研究——拼焊板车门刚度设计中的稳健性控制	166
6.4	本章小结	171
	参考文献	172



第 1 章 车身质量设计的研究现状

质量是客户选择产品的重要指标，无论从管理还是技术层面，也都是企业关注的产品竞争力的体现。产品质量经由设计和制造两个阶段形成，而 80% 的质量问题都是由设计造成的。其中部分可以在后继阶段得到改正，但是由此引发的费用随着问题发现的阶段的延后呈指数增长。研究表明，设计决定了 70% 的产品成本。由此看来，质量在产品设计阶段就已经确定，经过传递影响到产品的制造和使用过程。因此，产品的设计阶段是企业进行质量控制的重要环节。

1.1 质量设计的研究进展

1.1.1 设计面向质量的设计理念

质量设计的思想来源于设计面向质量(Design for Quality)的设计理念，是 DFX 系列设计方法中的一员，分为两个阶段。首先是指在产品设计过程中，依据目标客户群及企业内部条件，确定产品所需的质量等级，即常说的质量规划。继而是形成质量的阶段，即如何将质量等级实现，如何满足质量规划的要求，这里称为设计过程的质量。

从 1918 年美国的科学管理活动开始，以质量为核心的生产管理活动经由质量检验阶段、统计质量控制阶段，已经进入全面质量管理时期。人们运用“系统工程”思想，把质量问题作为一个有机整体加以综合分析，而后来“行为科学论”的出现，使人在其中的主观能动作用受到重视，于是“将质量设计到产品中”这种进攻型的质量控制方法，受到科技研究和生产企业的广泛重视。

关于设计质量课题的研究，国内外学者已经对设计质量的研究意义达成了共识，并为今后设计质量及其控制方法的研究提供了基本的指导思想。东北大学的闻邦椿教授讨论了产品广义质量内容，首次给出了设计质量的定义，提出了基于系统工程的新的产品设计理论与方法，将产品设计过程分为规划、实施、检验阶段。总体规划是对产品设计思想、设计目标、设计环境、设计过程、设计内容、设计方法及质量检验进行全面规划；通过 1 + 3 + X 设计法实施，即功能优化设计、动态优化、智能优化和可视化，并根据产品特殊要求采用的 X 设计方法结合在一起的综合设计法；质量检验主要是用理论方法、试验方法或试用等手段对设计质量进行检验。



瑞士学者 V. Hubka 在 1989 年召开的工程设计国际会议上首次提出了保质设计 (DFQ) 的概念, 以技术系统为例, 提出了设计过程模型。而后 M. Morup 博士就保质设计的研究对象提出了两类质量论, 把质量分成两类(Q, q), Q 代表外部质量, 指产品所能体现的特征、特性等顾客能感受到的质量; q 指企业内部为实现 Q 而进行的一切生产活动的内部质量。K. G. Swift 和 A. J. Allen 在前人的基础上, 提出了保质设计的集成产品开发模型, 表明了保质设计在从用户需求出发, 市场、设计、制造三者并行过程中两类质量的地位和相互关系。浙江大学吴昭同教授最早将保质设计思想和方法引进中国, 与陈本永建立了智能化的保质设计系统, 提出了基于质量控能配置的保质设计过程模型和推理机模型。

如果说保质设计和综合设计法是对质量定义和设计过程的概念性研究, 那么质量工程则是在技术层面对设计质量保证提供技术支持。

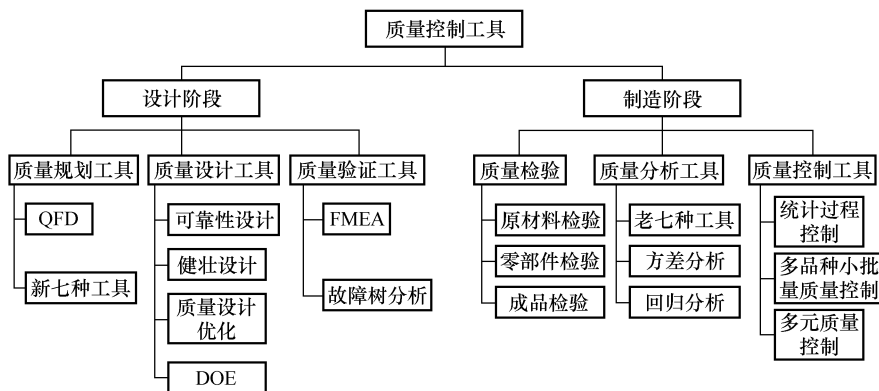


图 1-1 质量控制工具的组成

图 1-1 列出了质量工程中质量控制工具的组成元素。质量工程是一个融合管理与工程技术的交叉领域, 从技术层面为质量控制、质量保证和质量改进提供支持。美国国家标准与技术研究所(NIST)在“下一代制造”项目中对质量工程定义的界定是“将现代质量管理的理论与实践, 与现代科学和工程技术相结合, 以控制、保证和改进产品质量为目标的一系列方法和技术的总称”。一般认为产品质量工程包括产品设计质量工程和制造质量工程。

20 世纪 70 年代, 德国学者 G. Pahl 和 W. Beitz 提出了具有代表性、权威性和系统性的设计方法学, 将设计过程分为产品定义阶段、概念设计阶段、初步设计阶段和详细设计阶段。使用质量屋提供的规划工具, 将获取的顾客需求分解落实到产品设计的各个阶段, 采用基于约束的目标分解和多目标优化技术, 实现设计目标的分解和优化。利用可靠性设计工具进行产品及关键零部件的可靠性预测和分配。利用失效模式分析和故障树分析法, 分析产品可能出现的故障和发生的阶段。然后通过



健壮设计,在考虑环境因素对产品质量性能的影响下,确定产品的参数及容差,从而保证产品全面满足客户需求,提高产品市场的竞争力。

1.1.2 车身设计质量及其影响因素

质量是一个动态发展的概念,在不同的时代背景和主、客观条件下,人们对质量存在着不同的理解。ISO 9000:2000 将质量定义为:一组固有特性满足要求的程度。其中,“固有”是指事物本来就永久存在的特性;事物指实物,也可以是活动或过程;“特性”是可以辨别的特征,反映了事物满足要求的能力;要求可以是明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望。明示也就是通过技术规范、技术要求、质量标准在合同或说明书中明确规定的;通常隐含是指行业公认或道德约束下约定俗成的,有时要通过调查才能识别;必须履行的是事物得以存在的价值。由于“要求”的内容随着时间和环境的迁移会发生改变,所以质量的概念是动态的。

但综合看来,质量具有符合和适用的二维性。适用性决定了符合性,符合性是适用性的体现。适用性是指满足顾客需要的程度;符合性是指符合标准要求的程度。企业提供的产品,不能满足客户需要或客户不适用,就会没有或失去市场。同时,企业为实现产品的适用性,还需确定某些技术规范,通过实现全部生产活动,生产出符合技术规范的产品。质量不仅体现在最终产品上,还包括质量形成的过程和活动,是用户、企业和社会满意的最大化。

由于设计过程贯穿双向主观质量思想,设计质量应该包括最终交付质量和过程及缺陷源定位过程质量,建立在广义客观质量基础上,反映个体满意程度的质量观念。综合考虑质量的定义和设计过程的特点,设计质量可以定义为:一组固有特性在转化为实物的活动过程中,满足要求的程度。套用质量的二维性,设计质量同样具有适用性和符合性。适用性是满足广义客户需要的程度;符合性是指符合设计目标、设计规范和设计标准的程度。广义客户包括设计下游的内部客户和由最终消费者、环境、经济等组成的外部客户。

对于实物产品来说,设计质量可以体现为产品或数模的功能和性能,性能包括结构性能、工艺性能和操作性能。

车身设计过程是个开放式的系统,车身设计质量随着质量特性在设计过程中的逐渐细化而形成,影响车身质量的因素分布在整个设计过程中,可以分为可控和不可控因素。综合 Hubka 质量影响因素和 5M1E,根据车身设计特点,分析车身设计过程中的质量因素。

1. 设计需求

明确需求是正确开展设计活动的首要条件。企业决策人员根据目标客户群需要、竞争产品、法规标准和自身实力,评估技术风险,以利润最大化为目的考虑综合设定整车系统总目标。汽车设计是一项具有多层次和等级结构的活动,车身是其



中一个组成部分，车身的设计需求要从整车需求中提取，最后通过车身零部件的物理和性能参数实现，如图 1-2 所示。

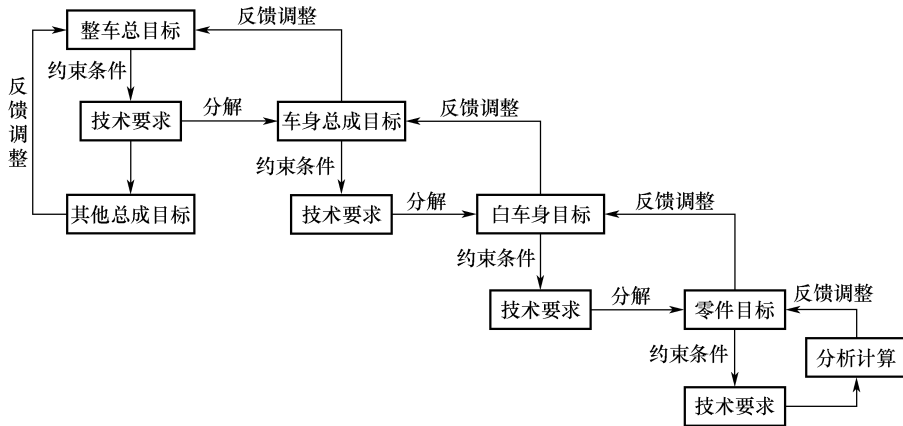


图 1-2 设计需求转化设计参数

为了满足设计目标就必须对设计参数进行控制，车身设计目标按系统图法展开。依据整车总体目标设定对车身的设计需求。得到车身总成目标后，继续展开，零部件的所有要求都应与高一级别的目标相关，由于约束条件的限制，设计结果不可能与设计需求完全匹配，经过各级的反馈调整，可以得到与原始设计需求最为接近的设计结果，从而保证设计需求的满足。

2. 设计人员

全面质量控制提倡重视人的主观能动性，认为人是影响车身设计质量的首要因素。企业人员组织机构分为三层：执行层、管理层和决策层。人员的个人素质，即文化技术水平、身体素质、职业道德、人际关系处理能力、组织能力、管理能力、决策能力等都会对设计质量产生直接或间接影响。与车身设计有关的执行层人员有：造型设计人员、各零部件设计人员、系统集成设计人员、尺寸/公差设计人员、试验人员、生产工艺分析人员、协调人员等；管理层和决策层有：市场、设计、制造负责人员或企业负责领导。

3. 设计工具

车身设计过程的工具是指设计技术和方法。设计技术和方法的选择对车身设计质量有着重要影响。质量工程中将设计阶段质量控制工具分为质量规划工具、质量设计工具和质量验证工具。由于车身为焊装件，其公差尺寸设计时需要考虑焊接变形，有些企业采用三次设计和虚拟焊接相配合的方法，设定与制造公差相配合的设计公差。

4. 设计信息

设计信息是设计质量的载体，包括产品定义、数模、图纸和技术文件等，具有



时效性、有序性、共享性、可存储性、爆炸性和快速变化性等特点。

车身设计过程中的输入、输出信息包括：产品定位、整车基本布置参数、竞争车型信息、设计手册、国家法规、技术标准、典型断面信息、系统关联件信息、历史经验、车身材料信息、现有生产工艺信息、产品数模/图纸和制造要求等。

目前，主要通过开发流程来对车身设计信息流进行控制。具体操作有：一是应用质量策划、目标管理、门径管理、并行工程等理念规范车身设计流程，进而明确车身与动力、底盘、车身附件等其他区域的信息交换口，一般体现在设计区域的设计程序和操作文件上；二是计算机辅助设计系统应用，使用数据管理系统（如TCAE）的工作流管理来优化信息传播途径，建立和维护并行工程中的沟通机制，避免设计迭代引发的信息版本问题。

1.1.3 设计阶段的质量控制模型

田口玄一博士认为，影响产品性能的因素可以分为三类：

- 1) 设计因素，其值应该在设计阶段就得到选择和确定， $x \in R^n$ 。
- 2) 噪声因素，其值在设计阶段不可预测并且在制造阶段不可控制， $u \in R^p$ 。
- 3) 制造控制因素，可以通过在制造阶段控制调整这一类因素来抵消噪声因素的影响，确保得到期望的输出特征， $v \in R^q$ 。

典型的质量控制问题是在上述三类因素影响下，如何保证性能 y_i 获得特定目标值 y_i^* 的过程，其数学模型可表示为：

$$y_i = F_i(x, u, v), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

式中， F_i 表示 $R^n \times R^p \times R^q \rightarrow R$ 。

假定噪声因素在一定区间内变化， $u_i \in \mathbf{u}_i = [u_i, \bar{u}_i]$ ， $i = 1, 2, \dots, p$ 。制造控制因素也不是随意的，只能以区间的形式进行描述，即 $\mathbf{v}_i = [v_i, \bar{v}_i]$ ， $i = 1, 2, \dots, q$ 。那么从制造过程输出的性能特征目标值将如质量标准或流程规范中规定的那样，落在 $\mathbf{y}_i = [y_i, \bar{y}_i]$ 区间内，其中 $i = 1, 2, \dots, m$ 。此时，质量控制问题可以描述为，如何选择设计参数 x ，从而使得在其相应界限 $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_p$ 内的任何噪声因素 u'_1, \dots, u'_p ，都存在对应的制造控制因素 $v'_1 \in \mathbf{v}_1, \dots, v'_q \in \mathbf{v}_q$ ，使得输出特性 $F_i(x, u', v')$ 始终保持在指标标准控制的范围 \mathbf{y}_i 内。引入逻辑符号 (\forall, \exists) 表示：

$$\{x \in R^n \mid (\forall u_1 \in \mathbf{u}_1) \cdots (\forall u_p \in \mathbf{u}_p) (\exists v_1 \in \mathbf{v}_1) \cdots (\exists v_q \in \mathbf{v}_q) \\ (F_1(x, u, v) \in \mathbf{y}_1 \cdots F_m(x, u, v) \in \mathbf{y}_m)\}$$

这类问题的解集也称为 AE 解集，在以区间数为对象的运算中运用广泛，通过逻辑符号的操作，获得具有不同含义的解。上述公式揭示了设计质量控制的问题本质。解决具体设计问题时，也应该以本公式作为设计指导思想。



1.2 车身质量的控制对象

在设计过程中，产品由模糊概念经过结构设计、细节设计最后通过试验验证才能量产。产品信息也由脑中意向经过效果图表达、数模设计最后落实到工程制造图纸和技术规格文件，才能实体化。这中间引起问题的变量很多，每一阶段都进行实物验证，既不经济，也不现实。有学者经过研究发现，设计质量问题按类型可分为三类：

- 1) 设计目标设定有误：没有正确地把握用户需求，制定出不合理的设计目标，从而导致质量问题。
- 2) 设计实现有误：设计原理、结构、参数等错误，导致设计本身不能满足设计目标要求的质量问题。
- 3) 设计不稳健：设计本身是可行的，但由于实现过程(如采购、制造、装配、储运、维修等环节)存在的不稳定因素而难以满足设计要求，一些关键设计变量需要进一步调整来提高产品质量的稳定性，使产品具有较强的抗干扰能力。

设计质量控制主要关注内部适用性、车身主要设计活动所涉及的设计对象，已知条件和输出特征如下。

1. 车身设计质量的内部适用性

内部适用性是指设计结果的可制造性。设计数模或图纸能否物理实现，是对产品设计的最基本要求，包括单件可实现性和批量可实现性。对于车身产品来说，其可制造性包括板材可成形性、零件可焊接性、可装配性、与其他总成/系统的可集成性和设计质量在各生产环节中的稳健性。企业是追求利益的集体，不具备可制造性的产品是没有实用意义的。内部适用性的主要控制内容如下。

(1) 冲压制造性 白车身冲压件要保证冲压可行性。通过冲压拔模角，根据设计的冲压方向，确定各特征面不能有负角(特殊情况除外)；对于盒状件和梁件要特别注意拉延深度；还需保证足够大的圆角，复杂特征无突变等。对于切边和冲孔，切边不应急剧过渡，尽量不要切在圆角上，冲孔避免过于靠近圆角。在翻边急剧变化区域增加工艺缺口，翻边与相邻立壁距离不能过小。

(2) 焊接制造性 首先要确认焊接顺序，从单一零件到分总成、总成，理清主次隶属关系，保证焊接可行性，这是白车身设计的基础。根据焊接顺序定义搭接边层数，除圆角之外的直边搭接宽度在 12mm 以上。为保证零件在焊装夹具上的正确定位，零件上需要设计定位孔。一般可以将安装孔等用做定位孔，有时也需要设计专用定位孔。如两个定位孔则必须明确主孔与辅孔，专用定位孔直径一般为直径公差 ± 0.2 ，位置公差 ± 0.3 。此外为满足车身结构设计的焊接通过性而设计的通孔，需做成翻边孔。



(3) 涂装制造性 一般通过涂装工艺孔来保证车身设计的涂装可行性,包括进水、排水和排气孔。在车身前进方向的前部设有进水孔,防止车身进入前处理槽时漂起来;相应地,在车地板上以及有凹槽底部位置设有排水孔;对于车身弧面设计有排气孔,防止因为气泡无法排出,造成化学处理不到位,引发外观和防锈能力的缺陷。

(4) 总装制造性 考虑总装顺序,车身结构设计在总装制造过程中工具的可通过性。如动力工具与车身零件的水平间隙至少为25mm,风窗玻璃边缘和发动机舱盖铰链间要有15mm的距离等。

内部适用性的另一含义是指经济性。产品设计质量是设计需求实体化的过程,不同的设计目标,对企业资源的消耗和利用率也不相同,每添加一项设计目标或提高一项设计目标要求,都要消耗一定的资源并增加一定的资源利用率,但并不是对资源的消耗越多、利用率越高就越好,最佳的产品设计应当保证资源的最佳组合和利用。因此,对车身经济性主要考虑生产资源的合理利用。

2. 车身设计活动

(1) 车身布置 车身布置直接影响了整车的性能,在整车开发过程中,与造型设计同时进行。它以整车基本定义为输入条件,包括产品定义、整备质量、基本尺寸、轴荷分配、驱动形式、发动机布置、乘员空间、行李箱容积、整车基本构造、性能要求等。车身布置主要分为轮罩形状和地板布置、发动机舱和前围布置、车室内部及后围布置、其他仓储类零件布置,见表1-1和表1-2。

表 1-1 轮罩形状和地板布置

已 知	设计对象	输出特征
离地间隙要求、动力传动系统布置形式	离地间隙和地板高度线	(前后悬、地板、油底壳)离地间隙、接近角、离去角、纵向通过角
车轮跳动极限位置、最大转向角、装配误差	轮罩形状	轮罩空间大小、形状、包络面间隙空间
前后轮罩形状/位置、离地间隙、动力传动系统布置、地板和门槛下沿线高度	地板布置	地板高度、布置形式、地板总成横截面

表 1-2 其他布置活动

已 知	设计对象	输出特征
动力传动系统尺寸、油底壳离地间隙、表面间隙、安装	发动机舱	发动机罩高度、倾角、轮廓形状、面罩位置/形状
乘员、H点	车室内部布置	车室长、宽、高,座椅仪表板、操纵件
整车造型、空气动力学、后窗下沿高度	行李箱布置	行李箱盖的高度、轮廓、长度、容积
地板、空气流动方向	排气管	距地板间隙、隔热隔声材料
车身有效容积、整车轴荷分配	燃油箱、备胎	容积、最小离地间隙、加油口、油道



(2) 车身力学分析 由于车身结构布置应使车身构成连续完整的受力系统和载荷路径,所以车身布置完成后应对车身进行相关力学分析,随着设计的深入,车身模型需要参数化、详细化,见表 1-3。

表 1-3 力学分析内容

已 知	设计对象	输出特征
内部布置要求、车辆外形	车身结构拓扑模型	构件几何参数、材料
载荷	应变能分析	承载结构
设计参数表征	构件节点分析	接头刚度、截面

(3) 车身结构刚度 汽车刚度包括整体刚度和局部刚度。车身刚度对整车刚度有主要影响,车身局部断面形状和加强件的使用影响了局部刚度。车身整体刚度设计分为弯曲刚度和扭转刚度,一般利用灵敏度分析、接头优化对车身刚度进行优化。局部刚度主要关注车身支撑部位刚度、板壳零件刚度及杆件截面的应力集中问题。

(4) 动力学分析 在分析车身刚度的同时,可以进行车身结构动力学分析,这也是设计质量控制应关注的主要内容,见表 1-4。

(5) 车身 NVH 特性研究 NVH 是指 Noise(噪声)、Vibration(振动)、Harshness(声振粗糙感),是人体触觉、听觉和视觉等感官的综合感受。NVH 特性指标有车身系统模态特性、声学振动灵敏度、噪声衰减特性、动力总成振动及其辐射噪声等,研究内容有刚弹耦合系统和声固耦合系统仿真分析等。通过整车模型和模拟激励,从而进行 NVH 特性诊断,诊断指标有乘员耳旁声压级、关键部位的振动。

表 1-4 动力学分析内容

车身结构动力学性能分析	车身振动特性	整体振动模态	
		部件模态分析	
		车身板壳局部振动模态	
	动力学性能设计	振动响应特性主观评价与测量	
		结构动力学设计	
		结构设计	结构研究
方案设计			
结构完善			

在车身详细结构设计过程中,为了降低噪声和振动,工程上经常会采取一些防振吸声措施。常用指标见表 1-5。应用在车身部位和材料种类的防振吸声措施见表 1-6。



表 1-5 防振吸声措施和评价指标

隔声	传递损失 (dB)	射到/透过隔声壁的声功率
吸声	吸声系数	接收/吸收/反射的声能
衰减处理	综合损耗系数	阻尼材料损耗系数/弹性模量/厚度、板材弹性模量/厚度

表 1-6 防振吸声措施应用区域和材料

应用区域	材 料	应用区域	材 料
顶盖	浸沥青、麻毡、再生棉毡、乙烯人造革	行李搁板	纤维板、麻毡
行李箱	乙烯薄膜、麻毡、内涂层	驾驶人搁脚板	麻毡、玻璃纤维、硬板
后轮罩	乙烯人造革、羊毛毡、麻毡、内涂层	后座椅靠板	麻毡、乙烯薄膜
地板	地毯、麻毡、油毛毡、内涂层	前围板	聚乙烯、玻璃纤维、硬板

(6) 车身抗撞性设计 汽车碰撞通常分为正面碰撞、侧面碰撞、后面碰撞、滚翻和行人碰撞等。根据要求对象不同,汽车安全分为主动安全和被动安全。主动安全是指汽车所具有的减少交通事故发生的能力;被动安全是指发生交通事故时,保护乘员免受伤害的能力。

车身碰撞性设计的主要内容是合理设计结构吸能和碰撞载荷的传递路径,优化各部分车身结构刚度后,对主要梁结构和接头结构进行设计,以达到乘员舱的刚度需求,见表 1-7。

表 1-7 不同碰撞形式下的刚度组织要点

碰撞形式	设计内容	设计点
正面碰撞	车身前部吸能	车身减速度脉冲波、薄壁梁变形模式
	乘员舱刚性	纵向力传递路径及与之相关的零部件刚度
侧面碰撞	侧向传递力分析	传递路径
	主要部件刚度	车门、B柱、门槛梁、接头结构、乘员舱底部横向结构
后面碰撞	车身后部吸能	后纵梁、车轮、后部长短、变形模式
	纵向力传递	向前传递路径
滚翻	车顶变形分析	立柱、车顶边梁/横梁的弯曲和轴向刚度、接头刚度

(7) 车身疲劳寿命分析 车辆在行驶过程中,受到路面不平产生的交变载荷作用,易引发车身疲劳强度问题,疲劳和断裂是导致车身承载结构破坏的主要原因。影响疲劳强度的因素有很多,可以归纳为材料本身的性质、零件几何形状、表面质量、工作条件、表面处理和残余应力,见表 1-8。



表 1-8 疲劳强度影响因素和评价指标

影响因素	原因	评价指标
应力集中	材料性质、零件结构	应力集中系数
零件尺寸	应力梯度、材料不均性	
表面质量	表面加工粗糙度、表层组织结构、表面应力状态	表面敏感系数
温度	蠕变现象	较高温度下的疲劳曲线

车身的疲劳寿命分析需要完成以下任务：首先建立整备车身模型，并以此为基础建立整车刚柔组合模型，用于动力相应分析；通过载荷通道获得危险车身通道载荷；通过各种循环事件载荷进行初步疲劳应力计算，识别危险循环事件载荷；综合循环事件载荷进行车身结构系统疲劳寿命计算，得出基于参考名义应力的安全系数。该项工作从项目的初期阶段开始，直到项目完成而结束。

(8) 车身闭合件设计 车身闭合件包括车门、发动机舱盖、行李箱盖等部件。该类零件设计时要重点考虑影响其运动功能性。

在明确了人机关系要求尺寸、车身总宽、车身侧面外形曲面等造型要求、与门框配合关系等输入条件后，开始进行车门铰链和门边结构设计、车门内部布置、车门与车身侧围的配合设计及性能分析，详见表 1-9。

表 1-9 车身布置工作内容

车门布置设计	车门铰链和门边结构设计	车门摆动分析
		K 线检查
		铰链轴线布置
		铰链轴线倾斜
	车门内部布置	玻璃及升降机布置
		门锁布置
		车门主截面布置
	车门与车身侧位的配合设计	密封条设计
		前门门锁啮合中心线处/后门上下铰链处 B 柱外板截面设计
	车门性能分析	车门扭转刚度分析
		车门垂直刚度分析
		车门外板凹陷分析
		铰链强度/刚度分析
		车门外缘齐平度分析

其他盖类零件设计时需要输入车身造型和配合零件的相关信息，设计过程中需